

# 山东孔辛头铜钼矿成矿时代及物质来源： 来自黄铜矿、辉钼矿 Re-Os 同位素证据

李超<sup>1,2)</sup>, 裴浩翔<sup>2)</sup>, 王登红<sup>2)</sup>, 周利敏<sup>1)</sup>, 赵鸿<sup>1)</sup>, 李欣尉<sup>1)</sup>, 屈文俊<sup>1)</sup>, 杜安道<sup>1)</sup>

1) 国家地质实验测试中心, 北京, 100037; 2) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037

**内容提要:**孔辛头铜钼矿床产于胶东地区伟德山超单元院格庄二长花岗岩与荆山群大理岩接触带形成的夕卡岩中, 主矿体呈透镜状、囊状、脉状产出, 受岩体内部裂隙构造控制。分别采用电感耦合等离子体质谱、热表面电离质谱 Re-Os 同位素测试技术对其中的辉钼矿、黄铜矿、磁铁矿进行了研究。结果显示, 辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为  $117 \pm 1$  Ma, 黄铜矿 Re-Os 等时线年龄为  $118.4 \pm 3.2$  Ma, 与区域上尚家庄钼矿床、冷家钼矿床成矿时代一致, 几个矿床成因均与伟德山超单元有关, 表明了胶东地区存在燕山晚期的钼矿化事件。而磁铁矿 Re-Os 封闭性较差, 无法得到年龄。黄铜矿初始<sup>187</sup>Os/<sup>188</sup>Os 值为  $0.32 \pm 0.17$ , 表明了孔辛头铜钼矿床金属成矿物质为壳幔混合来源, 形成于早白垩世太平洋板块向亚欧大陆俯冲而成的弧后拉张背景之下。

**关键词:** Re-Os 同位素; 辉钼矿; 黄铜矿; 定年; 示踪; 孔辛头

近些年来, Re-Os 同位素作为一种十分有力的工具被广泛用于矿床年代学以及成矿模型建立的研究中。在辉钼矿晶格中( $\text{MoS}_2$ ), Re 以类质同像形式取代 Mo 的位置而存在, 辉钼矿中 Re 含量一般较高, 并且辉钼矿 Re-Os 封闭性好, 因此辉钼矿是 Re-Os 定年的最佳矿物(Stein et al., 1998; Du Andao et al., 2012), 辉钼矿 Re-Os 定年技术十分成熟地应用于钼矿、铜矿、钨矿等金属热液矿床年代学研究中(Hou Zengqian et al., 2003; Mao et al., 2004; Wang et al., 2005)。对于一些含有辉钼矿的铜钼矿床来讲, 通过辉钼矿 Re-Os 定年方法能够十分精确地厘定出铜钼矿床的成矿时代。辉钼矿 Re-Os 定年作为一种有力的技术工具解决了斑岩型、夕卡岩型铜钼矿床的成矿时代问题。然而, 辉钼矿 Re-Os 年龄仅能够代表钼矿的形成时代, 而无法直接代表铜矿的形成时代。此外, 由于辉钼矿中 Re 含量极高, 而初始 Os 几乎没有, 因此不能利用 Os 同位素对其成矿物质来源进行示踪, 而黄铜矿、黄铁矿等其他硫化物 Re 含量较低, 并且含有一定的初始 Os, 能够对金属成矿物质来源进行示踪。然而, 由于其他硫化物中 Re、Os 含量较低, 并且其中 Re-Os 体系的封闭性并不如辉钼矿那么好, 所得到的等时线年龄误差较大, 在一定程度

上限制了其在金属矿床成矿时代、物质来源示踪方面的应用。

胶东是我国重要的金矿集中区, 同时也是重要的铜钼多金属成矿区。胶东地区分布有一些不同类型钼矿床, 如福山邢家山斑岩-夕卡岩型钨钼矿床、牟平孔辛头夕卡岩型铜钼矿床、栖霞尚家庄斑岩型钼矿、荣成冷家热斑岩型钼矿等, 这些钼矿床均与中生代花岗岩岩体关系密切(图 1), 是成岩作用的一种特殊表现形式, 成矿时代的精确厘定及金属成矿物质来源的示踪对于研究矿床成因、建立成矿模型具有重要意义。金属矿床的成矿时代主要采用辉钼矿 Re-Os 定年方法进行厘定, 邢家山钨钼矿床的成矿时代为  $158.9 \pm 1.9$  Ma(Liu Shanbao et al., 2011; Ding Zhengjiang et al., 2012), 尚家庄钼矿的成矿年龄为  $116.4 \pm 1.6$  Ma(Li Jie et al., 2013), 冷家钼矿的成矿年龄为  $110 \sim 120$  Ma(Wei Xufeng et al., 2014)。可见, 胶东地区的钼矿化主要集中为两期。对于金属硫化物矿床的成矿物质来源研究分为硫的物质来源和金属成矿物质来源, 斑岩、夕卡岩型铜钼矿床中的金属硫化物硫同位素显示其主要来源于岩浆(Qu Xiaoming et al., 2001), 而对于金属成矿物质来源问题的研究, 目前尚没有找到一个好的地球化学手段。Mao et al. (1999) 发现不

注: 本文为自然科学基金项目(41203037)及国土资源地质大调查项目(12120113015500)资助的成果。

收稿日期: 2015-07-14; 改回日期: 2015-12-10; 责任编辑: 黄敏。

作者简介: 李超, 男, 助理研究员, 从事 Re-Os 同位素研究。Email: Re-Os@163.com。

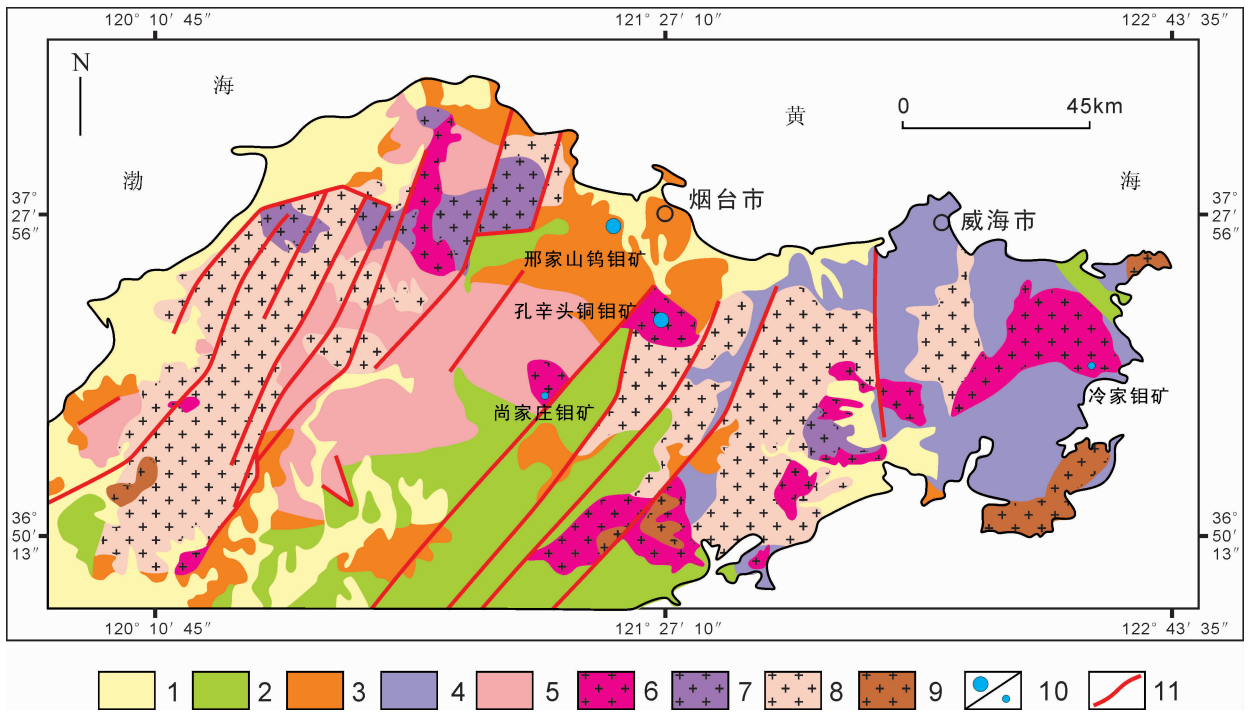


图 1 山东钼矿分布图(转引自 Li Jie et al., 2013)

Fig. 1 Regional geological map of Jiaodong area, showing the distribution of main molybdenum deposits (after Li et al., 2012)

- 1—第四系+新近系+古近系; 2—白垩系; 3—前寒武系; 4—含榴辉岩的新元古代花岗质片麻岩; 5—太古宙花岗绿岩带; 6—白垩纪伟德山超单元; 7—白垩纪郭家岭超单元; 8—侏罗纪玲珑超单元; 9—三叠纪花岗岩类; 10—大型/中小型钼矿; 11—断裂
- 1—Quaternary and Tertiary; 2—Cretaceous; 3—Precambrian; 4—Neoproterozoic eclogite-bearing granitic gneiss; 5—Archaean granitic greenstone belt; 6—Cretaceous Weideshan ultra unit; 7—Cretaceous Guojialing ultra unit; 8—Jurassic Linglong ultra unit; 9—Triassic granite; 10—large, medium and small sized molybdenum deposits; 11—fault

同成因的钼矿床中 Re 含量呈现规律性变化, 因此, 一些学者将辉钼矿中的 Re 含量作为研究金属成矿物质来源的主要依据。此外, Pb 同位素也往往作为一种主要的技术手段来解决金属成矿物质的来源问题, 但是由于 Pb 与 Mo、Cu 等地球化学不同, 在成矿流体运移、成矿元素富集的过程中, 往往表现出不同特征。Os 属于亲铁、亲铜元素, 在形成硫化物(如黄铜矿)时, Os 与 Cu 的地球化学行为相似(Shirey and Walker, 1998), 因此采用 Os 同位素示踪 Cu 成矿物质来源更为合适。

本文以牟平孔辛头夕卡岩型铜钼矿床为例, 以辉钼矿 Re-Os 年龄为基础, 研究其中黄铜矿、磁铁矿 Re-Os 同位素体系的封闭性。并尝试采用黄铜矿的 Os 同位素初始比值对其成矿物质来源进行示踪。以解决牟平孔辛头夕卡岩型铜钼矿床的成矿时代以及物质来源问题, 为研究胶东地区斑岩、夕卡岩型铜钼矿床成矿规律研究提供科学依据。

## 1 地质概况

孔辛头夕卡岩型铜钼矿区所处大地构造位置为

胶北隆起与威海隆起相接的牟即断裂带的东北段。区域构造以断裂为主, 褶皱次之。褶皱发育在荆山群内, 呈小的背斜、向斜相间排列, 轴向北东向。断裂构造主要有 NWW 向、NNE 向和 NW 向 3 组, 区域的 NW 向断裂是该区的控岩控矿断裂。区域内地层为古元古代荆山群野头组和白垩纪莱阳群。其中荆山群野头组为白云石大理岩、云母片岩、透辉岩、斜长角闪岩、斜长片麻岩等; 莱阳群为含砾砂岩、砂岩夹页岩(图 2)。区域侵入岩主要为中生代燕山晚期含角闪二长花岗岩(院上岩体), 与成矿关系密切, 分布在矿区西部及中部, 古元古代荆山群和白垩纪莱阳群内, 与荆山群大理岩接触带多形成夕卡岩或夕卡岩化岩石, 铜钼矿体即赋存于其中。

孔辛头矿体产于二长花岗岩与大理岩接触带内, 共圈定主矿体 4 个, 零星矿体 32 个(钼矿体 23 个, 铜矿体 7 个, 铁矿体 2 个)。这些矿体大体发育在 3 个矿化带内(图 2), 且多为盲矿体, 主要呈囊状、扁豆状、脉状, 其产状与变质岩产状基本一致(图 3)。I 号矿化带长 270 m, 宽 40~50 m。走向 290°, 倾向 NE, 倾角 60°~65°。矿化带顶板为莱阳

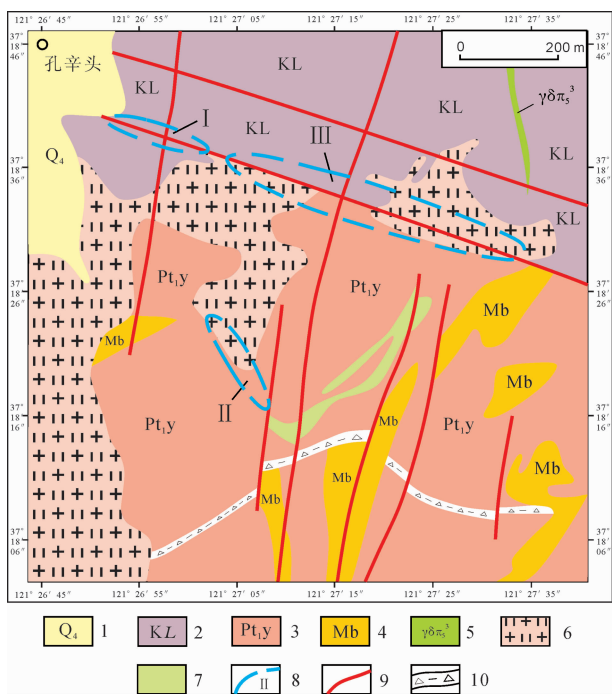


图2 山东牟平孔辛头铜钼矿区地质简图

(山东省冶金地质勘探公司第三勘探队, 1979)

Fig.2 Schematic geological map of the Kong Xintou Cu-Mo deposit Mu Ping Shandong Province (modified after No. 3 Geological Party of Metallurgical Geology Exploration Company Shandong Province)

1—第四系; 2—白垩系莱阳群; 3—古元古代荆山群; 4—野头组大理岩; 5—中生代燕山晚期花岗闪长斑岩; 6—燕山晚期二长花岗岩; 7—夕卡岩; 8—矿化带大致边界线及编号; 9—断裂; 10—破碎带

1—Quaternary; 2—Cretaceous Laiyang Group; 3—Early Proterozoic Jingshan Group; 4—the marble of Ye tou formation; 5—Mesozoic Late Yanshanian granodiorite porphyry; 6—Late Yanshanian monzonitic granite; 7—skarn; 8—approximate border lines and numbers of mineralization zone; 9—fault; 10—fracture zone

群砾岩, 底板为二长花岗岩。矿化带内仅一个矿体, 为含铜磁铁矿和辉钼矿矿体, 含矿夕卡岩的原岩为大理岩。II号矿化带长240m, 宽10~15m。走向330°, 倾向NE, 倾角50°~60°。该矿化带仅有矿化, 无矿体, 夕卡岩的原岩为大理岩和少量斜长角闪岩。III号矿化带是区内主要矿体的赋存带, 长650m, 宽50~80m。走向290°, 倾向NE, 倾角60°~70°。该矿化带有主矿体4个, 小矿体30个, 矿体以钼矿体、含铜钼磁铁矿体为主, 少量铜矿体。其中, 1号矿体为含铜钼磁铁矿体, 呈扁豆体状, 长182m, 厚1.27~10.46m, 延深50~150m, 走向290°, 倾向20°, 倾角50°。2号矿体为钼矿体, 呈透镜状, 长100m, 平均厚度7.37m, 延深250m。走

向290°, 倾向20°, 倾角55°。3号矿体为铜矿体, 呈透镜状, 产于夕卡岩中, 长123m, 平均厚度6.46m, 延深100m。走向290°, 倾向20°, 倾角50°~55°。4号矿体为含铜磁铁矿体, 呈透镜状, 产于夕卡岩中, 长150m, 平均厚度13.8m, 延深150m。

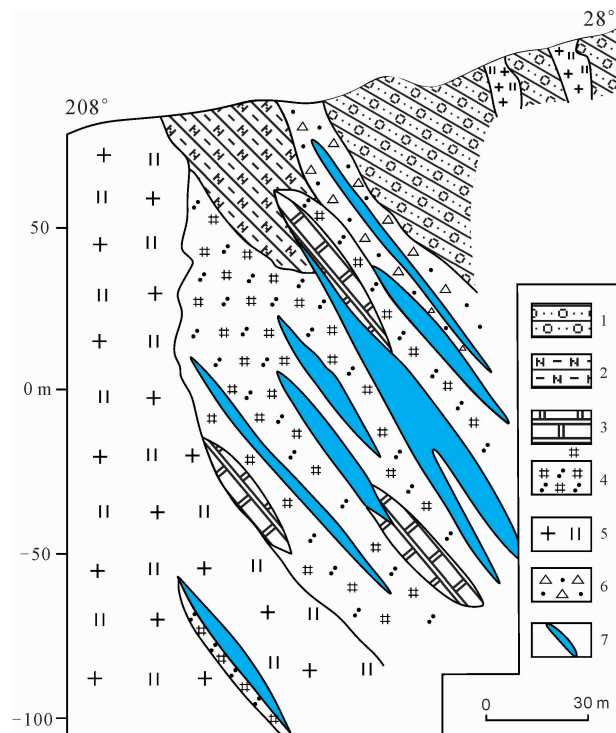


图3 山东牟平孔辛头铜钼矿区18线地质剖面简图

(山东省冶金地质勘探公司第三勘探队, 1979)

Fig.3 Schematic geological section along No.18 exploration line in the Kong Xintou Cu-Mo deposit Mu Ping Shandong Province(modified after No. 3 Geological Party of Metallurgical Geology Exploration Company Shandong Province)

1—白垩系莱阳群砂砾岩; 2—古元古代荆山群黑云斜长片麻岩; 3—野头组大理岩; 4—夕卡岩; 5—中生代燕山晚期二长花岗岩; 6—破碎带角砾岩; 7—铜钼矿体

1—Sandstone of Cretaceous Laiyang Group; 2—biotite plagioclase gneiss of Early Proterozoic Jingshan; 3—marble of Ye tou formation; 4—skarn; 5—Late Yanshanian monzonitic granite; 6—breccia in Fracture zone; 7—ore bodies of Cu-Mo

1—Sandstone of Cretaceous Laiyang Group; 2—biotite plagioclase gneiss of Early Proterozoic Jingshan; 3—marble of Ye tou formation; 4—skarn; 5—Late Yanshanian monzonitic granite; 6—breccia in Fracture zone; 7—ore bodies of Cu-Mo

矿石主要类型为含铜钼磁铁矿矿石、夕卡岩钼铜矿石、夕卡岩铜矿石、磁铁矿矿石和夕卡岩化花岗岩钼矿石。矿石中Mo平均品位0.13%, Cu平均品位0.77%, 全Fe平均品位34.98%。矿石主要呈半自形—他形粒状结构、交代残余结构; 块状构造、浸染状构造、薄膜状构造、细脉状构造、角砾状构造。矿石矿物主要有黄铜矿、辉钼矿、磁铁矿、黄铁矿、磁

黄铁矿等;脉石矿物有透辉石、石榴子石、方柱石、绿帘石、阳起石、斜长石、石英、方解石等。矿体围岩蚀变发育,有硅化、夕卡岩化、黄铁矿化、绿泥石化和碳酸盐化等,矿化与夕卡岩化关系密切。铁、铜、钼矿化具有一定的分带性:近岩体处的夕卡岩内多为含铜磁铁矿、含铜钼磁铁矿或磁铁矿;远离岩体处的夕卡岩内多为单一铜矿体或钼矿体。

## 2 样品采集与分析

### 2.1 样品准备

由于无法采集到坑道内的样品,本次测试样品采自孔辛头铜钼矿床Ⅲ号矿化带,共计 20 件样品,主要为石榴透辉夕卡岩型铜钼矿石及透闪透辉夕卡岩型磁铁矿矿石。辉钼矿呈薄膜状产于夕卡岩外侧,或者呈颗粒浸染状分布于夕卡岩中,共生矿物有绿帘石、绿泥石、方解石,辉钼矿呈铅灰色,金属光泽,硬度小。黄铜矿呈团块状分布于夕卡岩中,共生矿物有自形黄铁矿、方解石以及少量磁铁矿。磁铁矿呈致密团块状分布,可见少量浸染状黄铁、黄铜矿石与磁铁矿共生。首先用地质锤将样品袋包好的矿石样品敲碎,用一次性滤纸将其中挑选约 3g 新鲜的样品包好,用地质锤敲碎至 60~80 目,然后在双目镜下挑纯,挑选了其中的 5 件辉钼矿、7 件黄铜矿、4 件磁铁矿样品进行的 Re-Os 同位素测试。

### 2.2 样品溶解

准确称取硫化物、磁铁矿样品于细颈漏斗加入到长 20cm,直径 2cm 的 Carius 管底部。采用 3mL 15mol/L 盐酸将<sup>185</sup>Re-<sup>190</sup>Os 混合稀释剂转入用液氮冷冻的 Carius 管之后,再依次加入 5mL 经 15mol/L 硝酸和 3mL 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,用液化石油气和氧气火焰封闭 Carius 管,在 230℃ 条件加热 24h (Du Andao et al., 2001; Qu Wenjun et al., 2003)。加热完成后,将溶好冰冻的 Carius 管在细颈处打开,向管中加入超纯水定容至 25mL 采用直接蒸馏法,采用 5mL 超纯水作为吸收液对 Os 进行分离富集 (Li Chao et al., 2010; Zhou Limin et al., 2012)。完成 Os 蒸馏后,将 Carius 管蒸馏残液转入 150 mL Teflon 烧杯中,将其置于电热板上,加热近干。在 10mol/L NaOH 碱性介质中,采用丙酮对 Re 进行萃取 (Li Chao et al., 2009)。丙酮蒸干后,加入 5 μL 超纯水,用于点带。

### 2.3 仪器测试

首先将焊好的 Pt 带在空气中以 4.5A 的电流

去气 0.5h,然后用微量移液器将溶液点在 Pt 带上 (每次取 0.2 μL),以 1A 电流蒸干。当溶液全部点带蒸干后,缓慢升高电流至 1.5A,持续 1min 赶尽多余的杂质,随后降下电流。用微量移液器取发射剂 0.3 μL Ba(OH)<sub>2</sub> 溶液点在试样上,以 0.6A 电流蒸干,可看到乳白色的沉淀覆盖在 Pt 带上。随后缓慢升高电流至乳白色沉淀开始融化成像冰一样的状态,而后降低电流。对于高含量辉钼矿样品和低含量黄铜矿、磁铁矿样品分别采用等离子体质谱 X-series 和热表面电离质谱仪 Triton-plus 对同位素比值进行测定 (Creaser et al., 1991; Volkening et al., 1991)。对 TIMS 测量数据利用 O 同位素自然丰度和统计学中等概率模型采用逐级剥谱法进行 O 同位素干扰扣除。采用普通 Re<sup>185</sup>Re/<sup>187</sup>Re = 0.59738 作为外标进行 Re 同位素质量分馏校正,采用<sup>192</sup>Os/<sup>188</sup>Os = 3.0827 (Nier, 1940) 作为内标迭代法对 Os 进行质量分馏校正。

### 2.4 黄铜矿中 Mo 的测定

准确移取 0.5mL Carius 管中黄铜矿样品蒸馏残液于 30mL 塑料小瓶中,加入超纯水,定容至 20mL,以 20ppb Mo 标准溶液作为外标,采用电感耦合等离子体质谱测定其中 Mo 含量。

## 3 结果

### 3.1 结果分析

Re-Os 同位素分析全流程空白 Re 为 2pg, Os 为 0.1pg,表 1、表 2 中 Re-Os 数据已经扣除了本底对样品的影响。从孔辛头铜钼矿床中辉钼矿、黄铜矿及磁铁矿 Re-Os 同位素数据可以看出,辉钼矿中 Re 含量为  $20.89 \times 10^{-6} \sim 342.0 \times 10^{-6}$ ,<sup>187</sup>Os 含量为  $25.97 \times 10^{-9} \sim 422.5 \times 10^{-9}$ ,普通 Os 含量较低,相对于<sup>187</sup>Os 可以忽略不计。采用 Isoplot 软件 (Ludwig K, 1999) 对辉钼矿 Re-Os 数据进行投图,获得了 Re-Os 等时线年龄  $117.0 \pm 1.0$  Ma ( $2\sigma$ ,  $n=5$ ),与加权平均值年龄  $117.82 \pm 0.82$  Ma 在误差内完全一致 (图 4, 图 5)。黄铜矿中 Re 含量为  $0.455 \times 10^{-9} \sim 15.4 \times 10^{-9}$ ,<sup>187</sup>Os 含量为  $0.582 \times 10^{-12} \sim 19.5 \times 10^{-12}$ ,普 Os 含量为  $0.482 \times 10^{-12} \sim 4.00 \times 10^{-12}$ ,<sup>187</sup>Re/<sup>188</sup>Os 为 2804~57838,属于低含量、高放射成因硫化物 (LLHR),黄铜矿 Re-Os 等时线年龄为  $118.4 \pm 3.2$  Ma ( $2\sigma$ ,  $n=5$ ),初始<sup>187</sup>Os/<sup>188</sup>Os 为  $0.32 \pm 0.17$  (图 6, 图 7)。辉钼矿、黄铜矿的 Re-Os 年龄在误差范围内高度一致,较好地

表1 山东孔辛头铜钼矿床中辉钼矿 Re-Os 同位素数据

Table 1 The Re-Os data of molybdenite from Kong Xintou Cu-Mo deposit Shandong Province

编号	原样名	样重(g)	$w(\text{Re}) (\times 10^{-6})$		$w(\text{普Os}) (\times 10^{-9})$		$w(^{187}\text{Re}) (\times 10^{-6})$		$w(^{187}\text{Os}) (\times 10^{-9})$		模式年龄(Ma)	
			测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
140701-18	KXT-3-2	0.01009	257.3	4.3	0.0011	0.0982	161.7	2.7	315.3	1.9	116.9	2.4
140701-19	KXT-3-3	0.01011	30.67	0.24	0.4967	0.0902	19.28	0.15	37.78	0.27	117.5	1.7
140701-20	KXT-3-4	0.02006	20.89	0.15	0.0592	0.0228	13.13	0.10	25.97	0.15	118.6	1.6
140828-16	KXT-3-1	0.00588	314.0	3.2	0.0048	0.2602	197.4	2.0	386.8	5.1	117.5	2.3
140828-17	KXT-3-2-2	0.00503	342.0	3.2	0.0056	0.2443	214.9	2.0	422.5	2.9	117.9	1.8

表2 山东孔辛头铜钼矿床中黄铜矿、磁铁矿 Re-Os 同位素数据

Table 2 The Re-Os data of chalcopyrite and magnetite from Kong Xintou Cu-Mo deposit Shandong Province

矿物名称	原样名	样重(g)	$\text{Re} \times 10^{-9}$		普Os $\times 10^{-12}$		$^{187}\text{Os} \times 10^{-12}$		$^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$		$^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$		Mo $(\times 10^{-9})$
			测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值
黄铜矿	KXT-1-3	0.40018	0.8241	0.0029	0.5147	0.0192	1.025	0.031	7708	288	15.25	0.73	2.92
	KXT <sub>ep</sub> -2-1	0.39992	15.41	0.08	1.283	0.025	19.45	0.34	57838	1171	116.1	3.0	1.42
	KXT <sub>ep</sub> -2-3	0.40014	10.01	0.03	1.849	0.062	12.28	0.47	26057	874	50.89	2.57	0.968
	KXT-1-1	0.40038	2.332	0.007	4.003	0.021	3.067	0.023	2805	17	5.869	0.053	1.34
	KXT-1-2	0.40042	0.4550	0.0034	0.4824	0.0119	0.5820	0.0060	4582	76	9.297	0.206	0.0850
磁铁矿	KXT-2-1	0.40045	3.346	0.010	6.843	0.074	10.92	0.12	2354	26	12.23	0.19	
	KXT-2-2	0.40658	0.2638	0.0011	4.306	0.054	1.252	0.021	295.0	3.8	2.227	0.046	
	KXT <sub>mgt</sub> 2-1-2	0.40226	0.1647	0.0006	3.119	0.065	0.8484	0.0246	254.1	5.4	2.083	0.074	
	KXT <sub>mgt</sub> 2-2	0.40123	0.1538	0.0007	7.592	0.064	3.177	0.032	97.53	0.94	3.205	0.042	
	KXT <sub>mgt</sub> 2-3	0.40179	0.1483	0.0007	3.158	0.037	10.54	0.15	226.1	2.9	25.56	0.48	

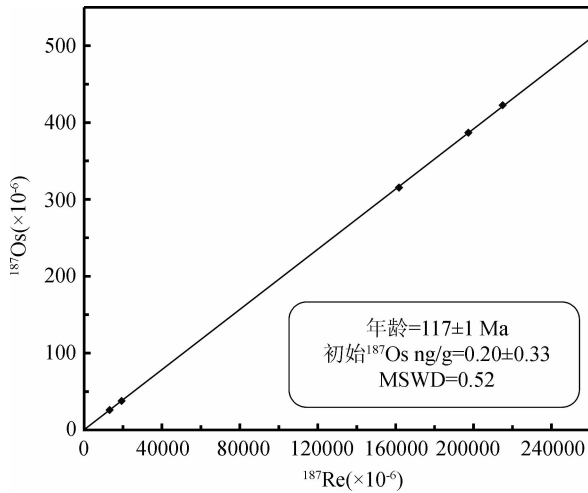


图4 山东孔辛头铜钼矿床中辉钼矿 Re-Os 同位素等时线  
Fig. 4 The Re-Os isochron age for molybdenite from Kong Xintou Cu-Mo deposit Shandong Province

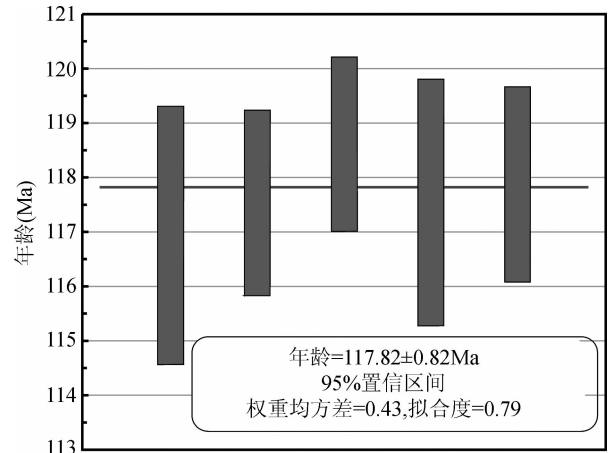


图5 山东孔辛头铜钼矿床中辉钼矿 Re-Os 同位素  
加权平均值年龄图  
Fig. 5 The Re-Os weighted average age for molybdenite  
from Kong Xintou Cu-Mo deposit Shandong Province

磁铁矿样品中 Re 含量为  $0.148 \times 10^{-9} \sim 3.35 \times 10^{-9}$ , 明显比黄铜矿中的 Re 含量要低, 而其中的普通 Os 含量为  $3.12 \times 10^{-12} \sim 6.84 \times 10^{-12}$ , 比黄铜矿中的普通 Os 含量还要高, 而其无法获得 Re-Os 等时线年龄, 这可能是由于磁铁矿形成于偏氧化的环境, 不利于 Re 的富集, 同时也不利于 Re-Os 体系的封闭。因此, 在夕卡岩型矿床中, 磁铁矿不适合作为 Re-Os 同位素研究对象。

## 4 讨论

### 4.1 成矿时代

辉钼矿 Re-Os 同位素定年方法, 是解决金属矿床成矿时代问题一种有效的技术手段。孔辛头铜钼矿床中的辉钼矿样品 Re-Os 加权平均值年龄为  $117.82 \pm 0.82\text{Ma}$ , 代表了孔辛头铜钼矿床的成矿时代为早白垩世。该年龄与院格庄二长花岗岩成岩

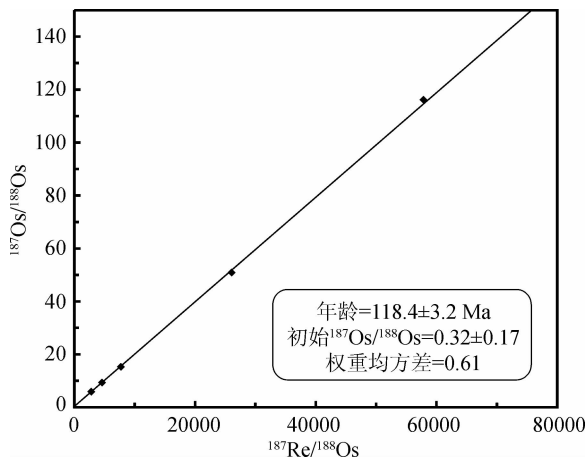


图 6 孔辛头铜钼矿床中黄铜矿 Re-Os 同位素等时线  
Fig. 6 The Re-Os isochron age for chalcopyrite from Kong Xintou Cu-Mo deposit Shandong Province

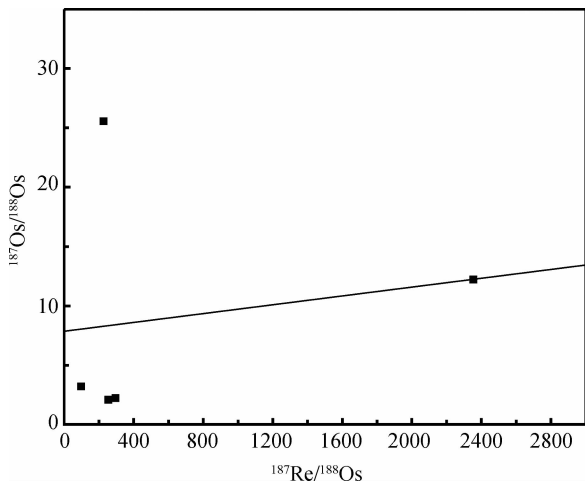


图 7 孔辛头铜钼矿床中磁铁矿 Re-Os 同位素等时线  
Fig. 7 The Re-Os isochron for magnetite from Kong Xintou Cu-Mo deposit Shandong Province

时代相一致, 院格庄岩体属于伟德山花岗超单元。伟德山超单元作为中生代燕山晚期的一期重要岩浆活动产物, 在胶东地区广泛分布, 包括院格庄、王家庄、招虎山、牙山等岩体, 其锆石 U-Pb 年龄介于 118~113Ma (Ding Zhengjiang et al., 2013)。在伟德山超单元范围产出了大量的铜钼多金属矿床(点), 其成矿时代与成岩时代吻合较好。与牙山岩体有关的尚家庄斑岩钼矿的成矿年龄为  $116.4 \pm 1.6$  Ma (Li Jie et al., 2013), 与伟德山花岗岩体有关的冷家斑岩型钼矿的成矿年龄为 110~120Ma (Wei Xufeng et al., 2014), 与伟德山超单元有关的南台爆破角砾岩型铜矿点成矿岩体时代为  $114.2 \pm 2.1$  Ma (Ding Zhengjiang et al., 2013)。可见, 与伟德山超单元有关的铜钼矿化十分发育, 由于伟德山

超单元在整个胶东地区普遍都存在, 目前发现的一些铜钼矿床主要集中在胶东地区的北部和东部, 在胶东地区南部寻找与伟德山超单元有关的铜钼矿床具有较大的潜力。

孔辛头铜钼矿中黄铜矿所得的 Re-Os 等时线年龄为  $118.4 \pm 3.2$  Ma, 与辉钼矿 Re-Os 年龄在不肯定度范围内高度一致, 表明了黄铜矿与辉钼矿为同期形成, 均是与院格庄花岗岩岩体有关。与辉钼矿一样, 黄铜矿 Re-Os 同位素呈现出 Re/普 Os 值较高特征, 那么, 是由于黄铜矿中含有少量辉钼矿而呈现出辉钼矿 Re-Os 特征, 还是黄铜矿本身呈现出这种特征呢? 首先, 选取的黄铜矿手标本以及在双目镜下挑选黄铜矿单矿物过程中并未见到辉钼矿。其次, 由表 2 可以看出, 黄铜矿中 Mo 含量介于  $0.09 \times 10^{-6} \sim 2.9 \times 10^{-6}$ , 假设这些 Mo 全部来自混入的辉钼矿, 即使混入 Re 含量为  $300 \times 10^{-6}$  的辉钼矿, 也达不到黄铜矿中 Re 含量, 并且, 黄铜矿中的 Re 和 Mo 并不是呈正相关关系。由此可以得出, 黄铜矿的 Re-Os 特征并非由于混入了辉钼矿而造成的, 而能够反映黄铜矿本身 Re-Os 特征, 这也能够说明矽卡岩矿床中黄铜矿 Re-Os 同位素体系封闭性较好, 适合用于 Re-Os 同位素分析。

#### 4.2 成矿物质来源

关于金属成矿物质来源的研究, 一直是解决矿床成因、建立成矿模型一个重要依据。对于 Cu-Mo 矿床来讲, 一般采用 Pb 同位素来示踪金属成矿物质来源。然而, 由于 Cu、Mo 与 Pb 的地球化学行为差异性较大, 并且在成矿岩浆、流体运移过程中会混入大量围岩中的 Pb, 因此并非能够反映出真实的成矿物质来源。近些年来, 随着大量辉钼矿 Re-Os 年龄数据的发表, 最初, 一些地质学家发现从幔源成因矿床到壳源成因矿床中辉钼矿 Re 含量有下降的趋势 (Mao J W et al., 1999; Stein et al., 2001), 随后, 还有一些地质学家将不同成因辉钼矿中 Re 含量进行了量化: 从地幔成因、壳幔混源成因、地壳成因矿床中辉钼矿 Re 含量呈十倍地下降: 从  $n \times 10^{-4} \rightarrow n \times 10^{-5} \rightarrow n \times 10^{-6}$  (Ye Huishou et al., 2006; Zhou Ke et al., 2009)。然而, 一些学者通过统计 744 个辉钼矿 Re-Os 同位素数据发现, 岩性和共生矿物种类的变化都将会引起辉钼矿中 Re 含量的级数变化, 认为辉钼矿 Re 含量似乎不能有效地反映出其成矿物质来源 (Yang Zongfeng et al., 2011)。

本文辉钼矿了 2 件薄膜状样品中 Re 含量为 20

$\times 10^{-6} \sim 30 \times 10^{-6}$ , 而另外 4 件浸染状辉钼矿样品 Re 含量为  $257 \times 10^{-6} \sim 341 \times 10^{-6}$ , 存在数量级上的差别。如果能够按照辉钼矿中 Re 含量示踪成矿物质来源, 那么孔辛头铜钼矿床中薄膜状辉钼矿为壳幔混源成因, 而浸染状辉钼矿为地幔成因, 显然这样的解释有些牵强。Feng Chengyou et al. (2007) 通过对南岭地区牛岭钨矿中辉钼矿进行分析, 发现 Re 含量为  $29 \times 10^{-9} \sim 103.9 \times 10^{-6}$ , Re 含量变化近 4 个数量级, 更是很难利用辉钼矿 Re 含量来反映成矿物质来源。

通过对大量斑岩型 Cu(-Mo) 和 Mo(-Cu) 矿床的研究发现, 辉钼矿中的 Re 含量有着从 Cu(-Mo) 矿床到 Mo(-Cu) 矿床逐渐减少的统计学趋势, 与矿床的 Cu/Mo 值有着一定的正相关关系 (Berzina et al., 2005)。与幔源岩浆底侵或交代作用有关、混入有镁铁质或超镁铁质岩浆熔体的矿床中的辉钼矿往往具有较高的 Re 含量, 而来自壳源岩石或贫有机质沉积地层有关的矿床中辉钼矿 Re 含量一般较低。但这只是一个统计学规律, 其成因机理还未确定, 而且就具有相同来源(幔源或壳源)的矿床而言, 甚至单个矿床而言, 其辉钼矿中的 Re 含量也存在较大差异(本文; Feng Cheng you et al., 2007)。相关研究也表明, 辉钼矿中的 Re 含量的控制因素众多, 不仅与岩浆来源及其分异作用关系密切, 而且还受到后期热液过程中物理化学条件的影响( $fO_2$ 、pH、Cl 的活度、温度等)。因此, 通过大量数据的统计, 辉钼矿中的 Re 含量对于成矿物质来源具有一定的指示意义, 但不能作为物质来源的严格判据。

由于 Os 为亲铁、亲铜元素, 在岩浆演化及成矿流体运移过程中, Os 与 Cu 的行为相近, 因此, 可以利用 Os 的来源来反映金属成矿物质来源, 不同的地质端元 Os 同位素特征差别很大, 地幔中的  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  值约为 0.12, 而平均上地壳中的  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  约为 1, 与平均上地壳 Os 同位素特征相比, 孔辛头矿床中黄铜矿具有相对非放射性成因  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  ( $0.32 \pm 0.17$ ), 这表明幔源组分(幔源岩浆、新生地壳)为成矿提供了物质来源。本文获得了黄铜矿 Re-Os 等时线初始值 ( $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ )<sub>i</sub> 为  $0.32 \pm 0.17$ , 其不确定度较大主要是由于黄铜矿中普通 Os 含量较低,  $^{188}\text{Os}$  测量误差较大而造成的, 但是, 在不确定度范围内显示出幔源组分参与了成矿, 并为成矿提供了金属物质来源。由于夕卡岩型矿床为岩浆与碳酸盐岩发生交代作用而成, 因此夕

卡岩型矿床金属物质可能来源于岩浆, 也有可能来源于碳酸盐地层, 与孔辛头铜钼矿床成因有关的伟德山超单元为中国东部岩石圈减薄过程中壳幔相互作用的产物 (Ding Zhengjiang et al., 2013), Li Chao et al. (2012) 发现壳幔相互作用晚阶段形成的岩浆 Os 同位素特征介于 0.35~0.73, 因此, 孔辛头铜钼矿床金属成矿物质可能主要来源于壳幔相互作用而成的岩浆。

#### 4.3 LLHR 成因

在黄铁矿、黄铜矿、毒砂、磁黄铁矿等一些 Re 含量较低的热液成因硫化物中, 当  $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$  大于 5000 时, 由于初始  $^{187}\text{Os}$  相对放射成因  $^{187}\text{Os}$  可以忽略不计, 与辉钼矿一样, 可以直接通过  $^{187}\text{Re}/^{187}\text{Os}$  值获得 Re-Os 模式年龄 (Stein et al., 2000)。因此, 这种特征硫化物被称为低含量高放射成因硫化物 (LLHR), 十分适用于成矿年龄测定。这种硫化物之所以呈现出低含量、高放射成因特征, 主要有两种可能, 一是由于成矿流体来源于地壳, 由于地壳具有高 Re、低 Os 特征, 黄铜矿形成的过程中继承了成矿流体的特征 (Stein et al., 2000); 另一种可能是由于成矿流体演化的过程中, 由于氧逸度改变使得 Os 以金属合金或者共沉淀形式从流体中分离, 使得成矿流体呈现出高 Re、低 Os 特征, 从而形成了 LLHR。从孔辛头铜钼矿床中黄铜矿  $\text{Osi}$  可以看出, 成矿流体存在地幔组分参与, 而具有壳幔混源的特征。穆龙套金矿中黄铁矿同样属于 LLHR, 而其初始值 ( $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ )<sub>i</sub> 为  $0.37 \pm 0.27$ , 同样存在地幔组分参与成矿 (Morelli et al., 2007)。在斑岩型矿床的形成过程中, 成矿流体由氧化性逐渐向还原性转变 (Sun et al., 2013; Jiang et al., 2014), 在早期氧化性的成矿流体中, Re、Os 都会以较高价态随流体一起运移, 当成矿流体由氧化性逐渐向还原性转变过程中, 一部分 Os 会被还原成低价而从流体分离, 当金属硫化物在还原性流体中发生沉淀时, 流体中具有较高的 Re/Os 值, 因此, 其中的黄铜矿 Re-Os 同位素具有 LLHR 特征 (Liu et al., 2012)。可见, LLHR 的成因可能主要取决于成矿流体氧逸度改变。孔辛头夕卡岩铜钼矿床中黄铜矿属于 LLHR, 该矿床成矿流体可能同样经历了从氧化到还原的转变过程。

#### 4.4 矿床成因

Mao et al. (2003) 研究认为, 华北板块及其周缘中生代成矿分为三期, 分别对应于 190~160Ma 碰撞造山过程、140Ma 左右的构造体制大转折时期

和 125~110Ma 左右的岩石圈拆沉作用。中、晚侏罗世,太平洋板块向亚欧大陆俯冲,胶东地区处于挤压背景之下,广泛的地壳增厚,发生拆沉作用,导致大规模地壳重熔,为该区钼钨成矿提供了主要成矿物质和流体,典型矿床为邢家山斑岩-夕卡岩型钨钼矿床。早白垩世,太平洋板块继续向亚欧大陆俯冲,胶东地区处于弧后拉张背景之下,岩石圈减薄、软流圈上涌,强烈的壳幔相互作用诱发了大规模的岩浆活动,伟德山超单元侵入到早元古代荆山群大理岩中,发生了相互交代作用,伟德山超单元提供了成矿物质,岩浆与荆山群大理岩接触带提供了赋矿空间,从而形成了孔辛头夕卡岩型铜钼矿床。早期成矿以钨钼为主,成矿物质来源,晚期成矿以铜钼为主,胶东地区两期钼成矿作用均与太平洋板块向亚欧大陆俯冲有关,但是两期成矿的构造背景、成矿物质来源以及矿种组合都具有较大差别。

## 5 结论

(1) 胶东孔辛头夕卡岩型铜钼矿床中辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为  $117 \pm 1$  Ma, 黄铜矿 Re-Os 等时线年龄为  $118.4 \pm 3.2$  Ma, 与伟德山超单元时代一致。

(2) 夕卡岩型矿床中黄铜矿具有较高的  $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$  (大于 5000), 可能与成矿流体氧逸度变化有关, 适合 Re-Os 同位素定年研究, 而其中的磁铁矿不适合作为 Re-Os 同位素研究对象。

(3) 黄铜矿 Re-Os 同位素等时线  $O_{\text{SI}} = 0.32 \pm 0.17$ , 表明了孔辛头铜钼矿床金属成矿物质为壳幔混合来源。

## References

- Berzina A N, Sotnikov V I, Economou-Eliopoulos M, Eliopoulos D G. 2005. Distribution of rhenium in molybdenite from porphyry Cu-Mo and Mo-Cu deposits of Russia (Siberia) and Mongolia. *Ore Geology Reviews*, 26(1): 91~113.
- Creaser R A, Papanastassiou D A, Wasserburg G J. 1991. Negative thermal ion mass spectrometry of osmium, rhenium and iridium. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 55:397~401.
- Du A D, He H L, Yin N W, Zou X Q, Sun Y L, Sun D Z, Chen S Z, Qu W J. 1994. A study on the rhenium-osmium geochronometry of molybdenites. *Acta Geologica Sinica*, 68(4): 339~347(in Chinese with English abstract).
- Du A D, Qu W J, Wang D H, Li C, et al. 2012. Re-Os method and its application in the science of deposit. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese without English abstract).
- Ding Z J, Sun F Y, Liu J H, Liu D H, Li B L, Zhang P J, Qian Y, Li J. 2012. Re-Os dating of molybdenites from the Xingjiashan molybdenum-tungsten deposit in Jiaodong Peninsula, China and its geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 28(9): 2721~2732(in Chinese with English abstract).
- Ding Z J, Sun F Y, Liu F L, Liu J H, Liu D H, Zhang P J, Du S X, Li B. 2013. U-Pb dating of zircons from the Weideshan molybdenum copper polymetallic deposits in Jiaodong Peninsula, China, and its geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 29(2): 607~618(in Chinese with English abstract).
- Feng C Y, Xu J X, Zeng Z L, Zhang D Q, Qu W J, She H Q, Li J W, Li D X, Du A D, Dong Y J. 2007. Zircon SHRIMP U-Pb and molybdenite Re-Os dating in Tianmenshan—Hongtaoling Tungsten-Tin orefield, southern Jiangxi Province, China, and its geological implication. *Acta Geologica Sinica*, 07:952~963(in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Qu X M, Wang S X, Gao Y F, Du A D, Hang W. 2003. The molybdenite Re-Os isotopic dating of the Tibetan plateau Gangdise porphyry copper belt: mineralization time limit and application of dynamic background. *Science in China(Series D)*, 33(7): 609~618(in Chinese with English abstract).
- Ludwig K. 1999. Isoplot/Ex, version 2.0: A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Geochronology Center.
- Li C, Qu W J, Du A D, Sun W J. 2009. Comprehensive study on extraction of Rhenium with acetone in Re-Os isotopic dating. *Rock and Mineral Analysis*, 28(3):233~238(in Chinese with English abstract).
- Li C, Qu W J, Zhou L M, Du A D. 2010. Rapid separation of osmium by direct distillation with Carius tube. *Rock and Mineral Analysis*, 29(1): 14~16(in Chinese with English abstract).
- Liu S B, Wang D H, Chen Y C, Zhou H Q, Qu W J. 2011. Geological characteristics and molybdenite Re-Os age of the Xingjiashan W-Mo deposit in Yantai area, Jiaodong Peninsula, Shandong Province. *Geological Bulletin of China*, 30(8): 1294~1302(in Chinese with English abstract).
- Li J, Song M C, Wang M Y, Li S Y, Zhou M L, Ni S J, Zhang C J, Ding Z J, Yu Y P. 2013. The molybdenite Re-Os age and genetic analysis of the Shangjiashan Mo deposit in Jiaodong area. *Geology in China*, 05: 1612~1621(in Chinese with English abstract).
- Liu J, Wu G, Li Y, Zhu M T, Zhong W. 2012. Re-Os sulfide (chalcopyrite, pyrite and molybdenite) systematics and fluid inclusion study of the Duobaoshan porphyry Cu(Mo) deposit, Heilongjiang Province, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 49: 300~312.
- Jiang Y H, Niu H C, Bao Z W, Li N B, Shan Q, Yang W B. 2014. Fluid evolution of the Tongkuangyu porphyry copper deposit in the Zhongtiaoshan region: Evidence from fluid inclusions. *Ore Geology Reviews*, 63: 498~509.
- Mao J W, Zhang Z C, Zhang Z H, Du A D. 1999. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W(Mo) deposit in the northern Qilian mountains and its geological significance.



- Geochimica et Cosmochimica Acta, 63:11~12.
- Mao J W, Wang Y T, Zhang Z H, Yu J J, Niu B G. 2003. Geodynamic settings of Mesozoic large-scale mineralization in North China and adjacent areas: implication from the highly precise and accurate ages of metal deposits. *Science in China (Series D)*, 46(8): 838~851.
- Mao J W, Li X F, Chen W, Lan X M, Wei S L. 2004. Geological characteristics of the Furong tin orefield, Hunan,  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  dating of tin ores and related granite and its geodynamic significance for rock and ore formation. *Acta Geologica Sinica*, 78(2):481~491.
- Morelli R, Creaser R A, Seltmann R, Stuart F M, Selby D, Graupner T. 2007. Age and source constraints for the giant Muruntau gold deposit, Uzbekistan, from coupled Re-Os-He isotopes in arsenopyrite. *Geology*, 35(9): 795~798.
- Nier A O. 1940. A mass spectrometer for routine isotope abundance measurements. *Review of Scientific Instruments*, 11(7):212.
- Qu W J, Du A D. 2003. Highly precise Re-Os dating of molybdenite by ICP-MS with Carius tube sample digestion. *Rock and Mineral Analysis*, 22(4): 254~262 (in Chinese with English abstract).
- Qu X M, Hou Z Q, Li Y G. 2002. Implications of S and Pb isotopic compositions of the Gangdise porphyry copper belt for the ore-forming material source and material recycling within the orogenic belt. *Geological Bulletin of China*, 11:768~776 (in Chinese with English abstract).
- Stein H J, Sundblad K, Markey R J, Motuza G. 1998. Re-Os ages for Archean molybdenite and pyrite, Kuittila-Kivisuo, Finland, and Proterozoic molybdenite, Kabeliai, Lithuania: testing the chronometer in a metamorphic and metasomatic setting. *Mineralium Deposita*, 33:329~345.
- Stein H J, Morgan J W, Schersten A. 2000. Re-Os dating of low-level highly radiogenic (LLHR) sulfides; the Harnas gold deposit, southwest Sweden, records continentalscale tectonic events. *Economic Geology*, 95:1657~1671.
- Stein H J, Markey R J, Morgan J W, Hannah J L, Schersten A. 2001. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: how and why it works. *Terra Nova*, 13:479~486.
- Sun W D, Liang H Y, Ling M X, Zhan M Z, Ding X, Zhang H, Yang X Y, Li Y L, Ireland T, Wei Q R, Fan W M. 2013. The link between reduced porphyry copper deposits and oxidized magmas. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 103:263~275.
- Shirey S B, Walker R J. 1998. The Re-Os isotope system in cosmochemistry and high-temperature geochemistry[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 26:423~500.
- Volkening J, Walczyk T, Heumann K G. 1991. Osmium isotope ratio determinations by negative thermal ion mass spectrometry. *Int. J and Mass Spectrom. Ion Process.* 105:147~159.
- Wang D H, Qu W J, Li Z W, Yin H L, Chen Y C. 2005. Mineralization episode of porphyry copper deposits in the Jinshajiang-Red River mineralization belt: Re-Os dating. *Science in China, Ser. D*, 48(2):192~198.
- Ye H S, Mao J W, Li Y F, Guo B J, Zhang C Q, Liu W J, Yan Q R, Liu G Y. 2006. SHRIMP zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating for the superlarge Donggou porphyry Mo deposit in east Qinling, China, and its geological implication. *Acta Geological Sinica*, 07: 1078~1088 (in Chinese with English abstract).
- Yang Z F, Luo Z H, Lu X X, Cheng L L, Huang F. 2011. Discussion on significance of Re content of molybdenite in tracing source of metallogenic materials. *Mineral Deposits*, 04: 654~674 (in Chinese with English abstract).
- Zhou K, Ye H S, Mao J W, Qu W J, Zhou S F, Meng F, Gao Y L. 2009. Geological characteristics and molybdenite Re-Os isotopic dating of Yuchiling porphyry Mo deposit in western Henan Province. *Mineral Deposits*, 02: 170~184 (in Chinese with English abstract).
- Zhou L M, Gao B Y, Wang L B, Li C, Qu W J, Hou Z Q, Du A D. Improvement on the Separation Method of osmium by direct distillation in Carius tube. *Rock and Mineral Analysis*, 2012(3): 413~418 (in Chinese with English abstract).

## 参 考 文 献

- 杜安道, 何红蓼, 殷宇万, 邹晓秋, 孙亚利, 孙德忠, 陈少珍, 屈文俊. 1994. 辉钼矿的铼-钨同位素地质年龄测定方法研究. *地质学报*, 68(4): 339~347.
- 杜安道, 屈文俊, 王登红, 李超. 2012. 北京: 铼-钨法及其在矿床学中的应用. *地质出版社*.
- 丁正江, 孙丰月, 刘建辉, 刘殿浩, 李碧乐, 张丕建, 钱烨, 李杰. 2012. 胶东邢家山钨钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素测年及其地质意义. *岩石学报*, 09:2721~2732.
- 丁正江, 孙丰月, 刘福来, 刘建辉, 刘殿浩, 张丕建, 杜圣贤, 李兵. 2013. 胶东伟德山地区铜钼多金属矿床石 U-Pb 法测年及其地质意义. *岩石学报*, 02:607~618.
- 丰成友, 许建祥, 曾载淋, 张德全, 屈文俊, 余宏全, 李进文, 李大新, 杜安道, 董英君. 2007. 赣南天门山一红桃岭钨锡矿田成岩成矿时代精细测定及其地质意义. *地质学报*, 07:952~963.
- 侯增谦, 曲晓明, 王淑贤, 高永丰, 杜安道, 黄卫. 2003. 西藏高原冈底斯斑岩铜矿带辉钼矿 Re-Os 年龄: 成矿作用时限与动力学背景应用. *中国科学*, 33(7):609~618.
- 李超, 屈文俊, 杜安道, 孙文静. 2009. 铼-钨同位素定年法中丙酮萃取铼的系统研究. *岩矿测试*, 28(3):233~238.
- 李超, 屈文俊, 周利敏, 杜安道. 2010. Carius 管直接蒸馏快速分离钨方法研究. *岩矿测试*, 29(1):14~16.
- 刘善宝, 王登红, 陈毓川, 周会青, 屈文俊, 王成辉. 2011. 胶东半岛烟台地区邢家山钨钼矿床地质特征及其辉钼矿 Re-Os 同位素测年. *地质通报*, 8:1294~1302.
- 李杰, 宋明春, 王美云, 李世勇, 周明岭, 倪师军, 张成江, 丁正江, 岳跃破. 2013. 胶东尚家庄钨矿床 Re-Os 同位素年龄及其地质意义. *中国地质*, 05:1612~1621.
- 屈文俊, 杜安道. 2003. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿铼-钨地质年龄. *岩矿测试*, 22(4): 254~262.
- 曲晓明, 侯增谦, 李佑国. 2002. S,Pb 同位素对冈底斯斑岩铜矿带成矿物质来源和造山带物质循环的指示. *地质通报*, 11:768

~776.

叶会寿,毛景文,李永峰,郭保健,张长青,刘王君,闫全人,刘国印.

2006. 东秦岭东沟超大型斑岩钼矿 SHRIMP 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义. 地质学报, 07:1078~1088.

杨宗锋,罗照华,卢欣祥,程黎鹿,黄凡. 2011. 关于辉钼矿中 Re 含量示踪来源的讨论. 矿床地质, 04:654~674.

周珂,叶会寿,毛景文,屈文俊,周树峰,孟芳,高亚龙. 2009. 豫西鱼池岭斑岩型钼矿床地质特征及其辉钼矿铼-钼同位素年龄. 矿床地质, 02:170~184.

周利敏,高炳宇,王礼兵,李超,屈文俊,侯增谦,杜安道. Carius 管直接蒸馏快速分离钼方法的改进, 岩矿测试, 2012(3): 413~418.

## Age and Source Constraints for Kongxintou Copper-Molybdenum Deposit Shandong from Re-Os Isotope in Molybdenite and Chalcopyrite

LI Chao<sup>1, 2)</sup>, PEI Haoxiang<sup>2)</sup>, WANG Denghong<sup>2)</sup>, ZHOU Limin<sup>1)</sup>,ZHAO Hong<sup>1)</sup>, LI Xinwei<sup>1)</sup>, QU Wenjun<sup>1)</sup>, DU Andao<sup>1)</sup>1) *National Research Center for Geoanalysis, Beijing, 100037;*2) *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*

### Abstract

Kongxintou copper-molybdenum deposit produced from skarn which formed via contact metasomatism between Jiaodong Weideshan superunit Yuangezhuang monzonitic granite and Jingshan Group marble. The main orebody occur as lenticular, cystic and veined controlled by fissure structure within the rock body. This research studied the molybdenite, chalcopyrite and magnetite adopting inductively coupled plasma mass spectrometry and thermal ionization mass spectrometry testing Re-Os isotope technology respectively. The results show that the Re-Os isochron age of molybdenite is  $117 \pm 1$  Ma, chalcopyrite is  $118 \pm 3.4$  Ma, which consistent with Shangjiazhuang molybdenum deposit and Lengjia molybdenum deposit. Those ore genesis relate to Weideshan superunit, indicating the presence of the Late Yanshan molybdenum mineralization events in Jiaodong. However the magnetite can not get Re-Os isochron age due to poor sealing property. Chalcopyrite Os isotopic initial value  $Osi = 0.3 \pm 0.02$ , shows the Kongxintou copper-molybdenum deposit into a source of crust mantle mixed, formed from the back-arc extension of Pacific plate subduction to the Eurasian continental in the early Cretaceous.

**Key words:** Re-Os isotope; molybdenite; chalcopyrite; dating; tracing; Kong Xintou